

国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み



小山 優

川崎重工業株式会社 水素戦略本部
プロジェクト総括部 推進部 担当部長

はじめに

世界中で異常気象による山火事や洪水などの自然災害が発生しており、地球温暖化による影響と考えられ、脱炭素化は待ったなしの状況である。水素は使用時にCO₂を排出しないことから脱炭素の切り札である。

日本では資源エネルギー庁より産学官の知見を集約した「水素・燃料電池戦略ロードマップ」¹⁾が2014年に策定・公開され、より具体化した「水素基本戦略」²⁾が2017年12月に承認された。この中で水素は再生可能エネルギーと並ぶ将来の重要なエネルギーの選択肢と位置付けられ、輸送・発電・産業およびビルや家庭などすべてのセクターでの水素利用推進が掲げられており、水素発電とこれを支える国際液化水素サプライチェーンの商用化を2030年代初頭に開始するとしている。

川崎重工業では、この水素基本戦略を念頭においた技術開発および実証を進めており、水素エネルギーの社会実装に向けて、国際水素サプライチェーンの構築に向けた取り組みを行っている。

本稿では、はじめに世界のエネルギーを取り巻く状況と水素利用への動きを説明し、当社のCO₂フリー水素チェーンのコンセプトと技術・安全・運用上の成立性の実証を目的として取り組んでいるパイロット実証について紹介する。さらに水素社会実現に向け、経済性を含めた商用化の成立性を見極める商用化実証および設備導入から運用に至るまで経済的に自立する商用化への取り組みを紹介し、最後に日本政府が脱炭素化に向けて新たに取り組む「カーボンニュートラルポート (CNP) 形成の推進」への貢献について述べる。

1. エネルギーを取り巻く状況

2015年12月に開催された第21回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP21) では、世界全体の温室効果ガスの削減目標が設定された。世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して

2°C未満に抑制することが定められ、さらに1.5°Cに気温上昇を抑える努力目標も規定された。この目標を達成するには、21世紀後半までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにすることが必要不可欠となり、世界中が脱炭素へと大きく舵を切った。このとき日本は2030年までに26%削減 (2013年比) の約束草案を提出している。また、2020年10月に菅内閣総理大臣が2050年カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現を目指すことを宣言され、2030年までに温室効果ガスを46%削減、2050年までに実質ゼロとする目標の引き上げが行われた。

脱炭素を達成するために再生可能エネルギーと電池の導入が必要となるが、規模やコストのハードルが高いため、水素の利用を加速させたいという動きも世界中で広がっている。日本は世界に先駆けて2014年エネルギー基本計画に水素エネルギーを盛り込み、水素・燃料電池戦略ロードマップを策定、2017年には水素基本戦略を打ち出した。世界各国の政府もこれに追従し、水素ロードマップや国家水素戦略を策定している。

また、水素エネルギーへの移行の動きは民間企業にも広がっており、エネルギー・資源、プラント、産業ガス、輸送機器などのグローバル企業13社が集まり、水素社会の早期実現に向け活動するHydrogen Council (水素協議会)³⁾が2017年に発足、参画企業数は現在123社となっている。

2. 国際水素サプライチェーンの構築

水素エネルギーを安価で安定的に供給するためには、国内での製造だけでは困難であり、海外で製造した水素の大量輸入が有望な選択肢となる。そこで当社は2010年より、豪州ビクトリア州ラトロブバレーの未利用資源である褐炭をガス化し、精製・液化した水素を専用運搬船で日本まで海上輸送する国際水素サプライチェーンの構築に取り組んでいる。水素は極低温 (-253°C) で液化し、気体の1/800の体積となる。また、高性能断熱技術 (二重殻真空断熱) の採用で、LNGと同等の長期

貯蔵を実現する。さらに、液化水素は高純度（99.999%以上）で輸送するため、日本国内で脱水素のエネルギーを必要とせず、蒸発させるだけで燃料電池に供給可能となる。純度を要求されるFCV用燃料（99.97%以上）にも適しており、毒性もなく、無臭のため、市街地での輸送、貯蔵、利用に適している。

当社の液化水素による国際水素サプライチェーン構想に対し、前述の豪州褐炭以外の未利用エネルギーや再生可能エネルギー由来の水素についても多数の国や企業からフィージビリティスタディ（事業成立性検討）の相談が到来している。また、水素利用に関しては、早期に水素ガスタービンの開発に着手し、社会実装の検討も開始している。当社はサプライチェーン全体の技術を一社で保有する世界で唯一の企業として、技術開発・実証を進めており、次章より現在の状況を紹介する。

3.パイロット実証事業

2015年度より国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成を受けて、液化水素運搬船の輸送容量が商用の約1/120スケールの豪州褐炭由来水素による国際水素サプライチェーンパイロット実証事業を進めている。実証事業の全体構成を図1に示す。本事業では、褐炭からの水素製造および長距離大量海上輸送の技術・安全・運用上の成立性を実証することを目標としている。

パイロット実証事業において船陸間の液化水素荷役実証を

行う神戸液化水素荷役実証ターミナル「Hy Touch 神戸」は、神戸市の沖合に浮かぶ神戸空港島の北東部、約1万㎡の用地に建設されている。2020年5月末、当初計画通り事業主体のHySTRAへの引き渡し完了し、2021年6月には、当社神戸造船所にて建造を終えた液化水素運搬船「すいそふるんていあ」とターミナル間の液化水素による世界初の船陸間荷役実証に着手している。また、豪州で進められていた水素製造プラント、水素液化プラント、積荷基地の建設も完了し、2021年度中には、豪州褐炭由来の液化水素を日本に輸送する実証試験を行う予定である。

3.1 ターミナル概要

神戸液化水素荷役実証ターミナルは、液化水素の貯蔵を行う液化水素タンク、液化水素の船陸間荷役を行うローディングアームシステム（LAS）、および付帯設備から構成される（図2、表1）。また、水素ガスを取り扱う付帯設備として、液化水素タンクから蒸発する水素ガス（BOG：ボイルオフガス）を圧縮するBOG圧縮機、圧縮した水素ガスを貯蔵するBOGホルダー、および液化水素荷役中に発生する水素ガスを処理するベントスタックを備える。BOGホルダーに貯蔵した水素ガスは、ターミナル内設備のガス置換や、液化水素を船から揚荷するバックアップ手段としての加圧圧送などに使用される。また、液化水素タンクへの液化水素充填のため、液化水素ローリーの受入設備も有している。

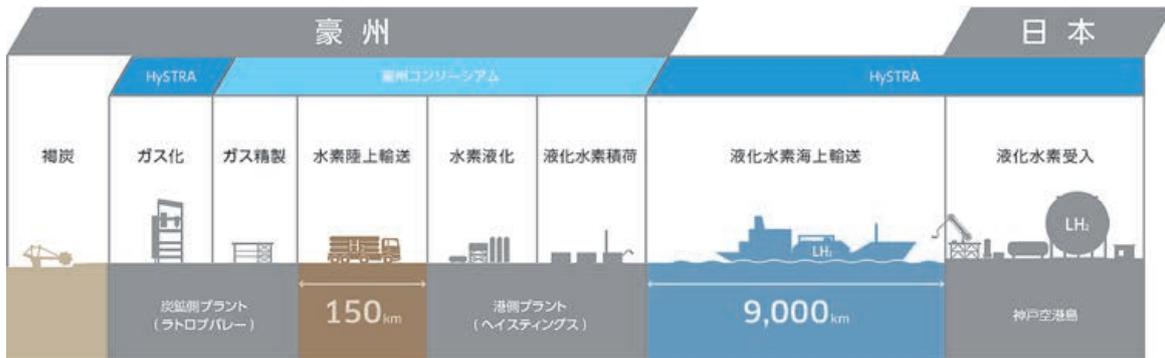


図1 パイロット実証全体構成(提供：HySTRA)

表1 神戸液化水素荷役実証ターミナル 主要目

機器名称	主要目
液化水素タンク	容積 2,500m ³ 直径 19m 構造 球形真空2重殻
ローディングアームシステム	口径 6インチ 構造 真空2重断熱 その他 緊急離脱機構
BOG処理設備 (BOG: Boiling Off Gas)	BOG圧縮機 BOGホルダー ベントスタック
その他設備	ローリー受入設備等



図2 建設中のターミナル外観

3.2 液化水素タンク

液化水素タンクは、実証試験により豪州から輸送される液化水素の受入・貯蔵に使用される他、液化水素運搬船との荷役実証のため日本国内から陸送される液化水素の貯蔵に使用される。液化水素は-253℃という極低温であるため、高度な断熱技術を用いて入熱による蒸発を防止しなければならない。そのためタンクの構造は魔法瓶と同じ真空2重断熱方式を採用している。この液化水素タンクが建設されるまでは、種子島宇宙センターに設置されている容積600m³のものが国内最大サイズであったが、このタンクは2,500m³の容積であり、国内最大容量を大きく更新した。

3.3 ローディングアームシステム

LASは海上に係留される船舶と接続して荷役を行うために陸上側に設置される設備である。船舶が着岸した後、船側配管のマニホールドと接続し、荷役作業に使用される。世界中に極低温(-253℃)の液化水素に対応したLASは存在せず、液化水素運搬船と同様に世界初の実証設備となる。このLASは、揺動する船と地上の固定配管とを安定的に接続し、従来のLNG用のLASよりも断熱・密封性能を向上させた真空二重フレキシブルホースを採用している(図3)。



図3 ローディングアームシステム外観

3.4 液化水素運搬船

液化水素運搬船「すいそふるんていあ」(図4)は、真空二重断熱方式の貨物タンクを1基搭載しており、蓄圧式シリンダー型を採用している。貨物タンクの内槽支持構造は、強度と断熱性能が高いGFRP(ガラス繊維強化プラスチック)を適用している。2017年度に本船の詳細設計・建造に着手し、同年に貨物タンクの製造を開始、2019年6月に船体の起工を行い、2020年10月に海上試運転において健全性を確認した。2021年6月からは、神戸液化水素荷役実証ターミナルに着岸、ターミナルと連携して液化水素の荷役を含む各種実証試験に着手している。



図4 海上試運転中のすいそふるんていあ

表2 すいそふるんていあ 主要目

全長	116メートル	航海速力	13ノット ^(*)
全幅	19メートル	航続距離	11,300海里 ^(*)
定員	25名	推進方式	電気推進

(*)1ノット=1海里/時=1.852km/時

4. ガスタービン発電での水素利活用

ガスタービンは多様な燃料に対応できるという特長を有するが、水素は天然ガスに比べて燃焼速度が速く、燃焼温度も高くなるため、窒素酸化物(NOx)の発生抑制と安定燃焼を実現する燃焼器の開発が必要となる。燃焼方式としては、燃焼安定性に優れた拡散燃焼に水を噴射してNOxを抑制する「ウエット方式」と、空気と燃料の混合方法などを工夫することによりNOxを抑制し、高効率化を可能とする「ドライ低NOx方式」の両方式の技術開発と実証試験を行った。

ウエット方式の水素ガスタービンは、NEDO助成事業「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」(2015~2018年度)へ適用し、水素コージェネレーションシステム(水素CGS)として実証を行った(図5)。実証設備は神戸市ポートアイランドに建設され、2017年12月に設備が完成、試運転を経て2018年3月より水素と天然ガスの混焼および水素専焼による熱電併給の実証試験を開始した。同年4月に行った実証試験では、水素専焼での運転に世界で初めて成功すると共に、近隣の公共施設へ電力約1.5MW、熱(蒸気)約1トン/時を同時



図5 水素コージェネレーションシステム

供給し、水素エネルギーによる熱電併給も達成した⁴⁾。

この実証事業と並行して、当社では微小な水素火炎を用いたマイクロミックス燃焼技術を新たに開発し、ドライ低NOx方式の水素専焼燃焼器も開発した。この燃焼器をNEDO助成事業「ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」(2019～2020年度)において、神戸市ポートアイランドの実証設備へ搭載し、2020年5月に世界初となるドライ方式での水素専焼運転にも成功した。

5. 商用化への取り組み

2030年初頭の国際液化水素サプライチェーンの商用化を実現するには、パイロット実証事業で取り組んでいる褐炭からの水素製造および長距離大量海上輸送の技術・安全・運用上の成立性検証と並行して、機器サイズは商用規模(大型化)としつつ、プラント構成はミニマム系列として経済性を含めた商用化の成立性を見極めるための実証が必要である。当社は、機器システム・部品メーカーと連携し、商用化に必要な大型機器の開発を目標としたNEDO助成事業「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」に、2019年度より着手している。さらに液化水素運搬船の商用化では、液化水素のBOGを推進システムへ利用する技術や大型液化水素貯蔵タンクシステムに適用する新たな断熱方式の開発にも着手している。日本の船級機関である日本海事協会からは、「液化水素運搬船用貨物タンクシステムの設計基本認証」も取得した。日本が水素の大量利用の実現により世界の脱炭素化をリードするためにも、当社は液化水素の大量輸送技術開発・実証に引き続き取り組んで行く。

6. 脱炭素に向けた新たな取り組み

脱炭素社会実現に向け、これまでに述べた製品・技術の面的な利用を加速させる新たな日本政府の取り組みとして、国土交通省港湾局が中心となって進める「カーボンニュートラルポート(CNP)形成の推進」がある。この政策の概要を説明し、当社の取り組みについて述べる。

国土交通省は2021年7月に2050年のカーボンニュートラル社会実現に向けて、2030年度までの10年間に重点的に取り組む分野横断・官民連携のプロジェクト、政策パッケージをとりまとめ、我が国のCO₂排出量の約5割を占める運輸・民生部門の脱炭素化等に向けた地球温暖化緩和策、気候危機に対応した防災・減災・国土強靱化等の観点からの気候変動適応策等に戦略的に取り組む「国土交通グリーンチャレンジ」を取りまとめた。この中には、分野を横断する6つの横断的な重点プロジェクトが含まれており、「港湾・海事分野におけるカーボン

ニュートラルの実現、グリーン化の推進」はその1つである。具体的な取り組みとして、水素・アンモニア等の輸入・貯蔵、利用等を図るカーボンニュートラルポート形成の推進⁵⁾が提示された。これを受けて、2021年4月からは、国土交通省港湾局が指定する国際拠点港湾、重要港湾(125港)への展開が進められている。この取り組みは、当社の取り組む国際水素サプライチェーン構築の中で取り組んでいる水素技術の開発・実証と親和性が高いため、神戸港、名古屋港では検討会に参加、さらに小名浜港や北九州港のCNP検討会や四国地域、坂出港の勉強会では、当社の水素社会実現に向けた取り組みや製品・技術を説明し、CNP形成に向けた具体的な検討の協力を行っている。この取り組みは今後さらに拡がると思われる。

おわりに

本稿では国際水素サプライチェーン構築に向けた液化水素の海上輸送および船陸間荷役、水素ガスタービン発電等の実証事業の取り組みを説明し、現在の状況を紹介した。さらに、商用化に向けた計画や脱炭素社会実現に向けた新たな日本国政府の政策であるカーボンニュートラルポート形成への取り組みについて述べた。

来るべき水素社会において、海上輸送した液化水素を港湾に設置した受入れターミナルで大規模に受け入れ、近隣で水素を大量に消費するサプライチェーンを構築することは、港湾での環境面での貢献に加え、エネルギー源の多様化や新たなエネルギー産業創出による地域経済の活性化にも寄与する。また、今後、世界の港湾に水素受入ターミナルが建設されることを見据え、液化水素荷役ターミナルに関する国際規格・基準の整備に主体的に取り組むと共に、ターミナルや港湾での水素の利活用にも積極的に協力していく。これらの取り組みを通じ、水素社会の実現、更には脱炭素社会の実現に貢献する。

【参考文献】

- 1) 経済産業省ホームページ、水素・燃料電池戦略ロードマップ http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/report_001.html (2014年6月24日)
- 2) 経済産業省ホームページ、水素基本戦略 <http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002.html> (2017年12月26日)
- 3) Hydrogen Councilホームページ <https://hydrogencouncil.com/en/> (2017年1月)
- 4) NEDOニュースリリース、世界初、市街地で水素100%による熱電供給を達成 https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100945.html (2018年4月20日)
- 5) NEDOニュースリリース、世界初、ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの技術実証試験に成功 https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101337.html (2020年7月21日)
- 6) 国土交通省ホームページ、カーボンニュートラルポート(CNP)の形成について <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001390169.pdf>